

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication : **2 555 007**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

(21) N° d'enregistrement national : **83 17865**

(51) Int Cl<sup>4</sup> : H 04 R 9/06.

(12) **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

(22) Date de dépôt : 10 novembre 1983.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la  
demande : BOPI « Brevets » n° 20 du 17 mai 1985.

(60) Références à d'autres documents nationaux appa-  
rentés :

(71) Demandeur(s) : *BENARD Alain Pierre Michel.*

(72) Inventeur(s) : Alain Pierre Michel Benard.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) :

(54) Haut-parleur à haut rendement et à grande puissance admissible.

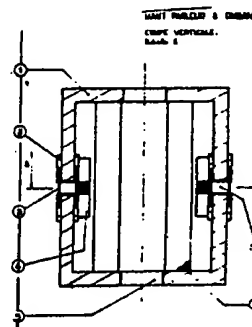
(57) L'invention concerne les hauts-parleurs.

Il s'agit d'une invention permettant d'associer un haut rende-  
ment avec une grande puissance admissible avec une excel-  
lente linéarité dans une bande passante étendue.

Il comprend des pièces polaires 1, 5 circulaires formant un  
entrefer dans lequel est placé un ruban d'aluminium plissé en  
accordéon 7 dont le mouvement est linéarisé par un dispositif  
4 d'amortissement par viscosité.

Le fonctionnement des plis du ruban face à face, en trans-  
formateur de vitesse, et le remplissage optimum de l'entrefer,  
ainsi que la tenue en courant du ruban autorisent ce haut-  
rendement et cette grande puissance admissible, l'ensemble  
étant linéarisé par le système d'amortissement par viscosité.

Les applications sont dans le domaine audio-fréquence la  
reproduction à très fort niveau à haute fidélité de la modula-  
tion, ainsi que la production des fréquences ultra-sonores pour  
des applications industrielles.



FR 2 555 007 - A1

Haut-parleur à haut rendement et à grande puissance admissible.  
Cette invention concerne les haut parleurs.

Il s'agit d'un haut-parleur à ruban, à transformation de  
vitesse destiné à produire un très fort niveau acoustique tout en  
5 conservant les propriétés des rubans classiques, à savoir :

- réponse élevée en fréquence.
- bonne linéarité.

soit une très bonne réponse impulsionnelle.

Description d'un haut-parleur à ruban conventionnel.

10 Ce type de haut-parleur fonctionne comme un haut-parleur électro  
dynamique où membrane et bobine mobile ne font qu'un ; le ruban est  
disposé à plat entre deux pièces polaires, sa surface de rayonnement  
le condamne à la reproduction des fréquences élevées.

15 Le rendement est fonction de la surface du ruban et du champ  
magnétique régnant dans l'entrefer. Celui-ci est généralement large, de  
l'ordre de 8 à 10 mm pour la majorité des modèles.

Sans quantifier, signalons des rendements constatés de 86 dB à  
92 dB pour 1 watt à 1 mètre, dans leur bande de fonctionnement et souvent  
avec utilisation d'un pavillon de couplage.

20 Sur certains modèles récents, comme le PTR 7 de PIONNER, nous  
obtenons 95 dB/w/m avec une puissance admissible de 30 watts. La bande  
passante s'étend de 4,5 kHz à 100 kHz dans 2 dB.

25 Des rendements supérieurs pourraient être obtenus grâce à une  
adaptation d'impédance à l'air par l'emploi de pavillon, mais alors nous  
ajoutons à ces remarquables transducteurs les défauts inhérents aux  
pavillons.

30 Il n'existe pas à l'heure actuelle de transducteur de la qualité  
des rubans pouvant rivaliser en niveau acoustique avec les meilleures  
chambres de compression ( 110 dB/w/mètre pouvant démarrer autour de  
500 Hz , pression mesurée avec un pavillon ). Notons que ces chambres  
de compression supportent 40 watts avec une bande s'étendant de 500 Hz  
à 15 kHz , exemple 288-86 ALTEC avec une membrane aluminium, ou une  
centaine de watts pour des modèles dont la bande s'arrête à 8 kHz ,  
équipées de membranes phenoliques.

35 Exposé de l'invention

Il s'agit d'un haut-parleur à ruban dont les caractéristiques  
sont les suivantes :

- rendement : 106 dB à 110 dB pour 1 watt à 1 mètre suivant les modèles;
- des rendements différents ont été obtenus suivant les bandes de fréquence  
40 reproduites.

- puissance admissible : 200 à 300 watts.
- linéarité : quelque soit la bande reproduite, nous obtenons une ondulation de  $\leq 2$  dB.
- réponse impulsionnelle équivalente à celle des meilleurs haut-parleurs à ruban actuels.
- directivité horizontale :  $360^\circ$
- directivité verticale équivalente à la directivité horizontale des rubans traditionnels ( diagrammes polaires ).
- bande passante : pour deux modèles, exemple:
  - 500 Hz à 20 kHz dans 2 dB
  - 5 kHz à 80 kHz dans 2 dB

Description de l'invention: fig 1

- Il s'agit d'un ruban plissé en accordéon, autour de plots en aluminium, isolés, disposés dans un entrefer circulaire réalisé grâce à une configuration particulière des pièces polaires. (1)

Le remplissage optimum de l'entrefer et le mode de fonctionnement des surfaces de ruban face à face procurent ce rendement et cette tenue en puissance élevés.

- Sur la partie arrière de ces plis disposés sur  $360^\circ$  se trouve un dispositif d'amortissement par viscosité procurant la linéarité cherchée.

Ce haut-parleur est caractérisé par l'assemblage de ces trois éléments :

- pièces polaires
  - disposition du ruban
  - amortissement par viscosité.
- Présentation des dessins.
- aspect général
  - vue de la disposition du ruban ( vue de dessus )
  - coupe verticale.

- Exposé détaillé.

Tout d'abord quelques chiffres obtenus par mesure sur notre modèle d'essais.

- chiffres procurant une bonne corrélation avec les résultats théoriques
- avec un ruban en aluminium de 8/1000 de mm.
- rendement de 108 dB/watt/1 mètre en bruit rose borné de 20 Hz à 20 kHz
- puissance admissible 35 A/0,20  $\Omega$  soit 245 watts.
- avec 15 A nous obtenons 125 dB Spl sur ce modèle.

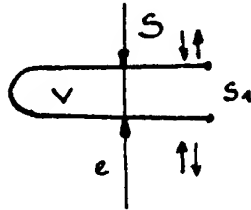
Le niveau acoustique de 132 dB Spl peut être atteint de façon continue.

- 1). Le ruban placé en accordéon autour des plots en aluminium isolés grace aux supports fonctionne comme un transformateur de vitesse.

Cet accordéon remplit l'entrefer circulaire en offrant un remplissage optimum.

Les positions de ruban vont s'écarter et se rapprocher, fonctionnement équivalent à celui d'une membrane à l'intérieur d'une chambre de compression.

Les calculs sont semblables à savoir de façon simple :



$S$ : surface d'une section moyenne de boucle

$S_1$ : surface de gorge.

$V$ : volume entre les 2 surfaces  $S$   
 $V = S e$

$x$ : écart entre surfaces.

$$Z_1 = \frac{\rho e}{S_1}$$

soit  $e$  l'épaisseur normale de nos deux membranes et  $\frac{x}{2}$  l'abscisse. Les deux membranes allant l'une vers l'autre à l'instant nous avons une épaisseur de  $e - x$ , et  $e + x$  pour l'instant où les deux membranes s'écarterent.

La pression  $P_1$  règne dans la cavité et l'impédance  $Z_1$  est offerte à l'air dans la section  $S_1$

La vitesse  $u_1$  à l'entrée de  $S_1$  va être :

$$u_1 = \frac{P_1}{Z_1 S_1}$$

donnons à nos deux membranes la vitesse  $\frac{dx}{dt}$ , fonction harmonique du temps à la pulsation  $\omega$ , et voyons quelle est la vitesse qui en résulte au plan  $S_1$

Pour cela, calculons  $P_1$ , excès de pression sur la pression atmosphérique, positif ou négatif ( $e + x$ , et  $e - x$ ) qui règne entre les deux membranes.

A la vitesse  $u_1$  correspond un débit en volume de  $S_1 \int u_1 dt$ , de sorte que le volume offert à la masse d'air qui était à l'origine  $S e$  est maintenant  $S(e - x) + S_1 \int u_1 dt$ , cas où les deux membranes se sont rapprochées de  $x$ .

La loi adiabatique, nous donne:

$$\frac{P_1}{P_0} = \gamma \frac{x}{e} - \gamma \frac{S_1}{S e} \int u_1 dt = \gamma \frac{x}{e} - \gamma \frac{S_1}{\gamma \omega S e} \cdot u_1 \text{ et } P_1 = \rho e \cdot u_1 \text{ donne:}$$

$$\gamma \frac{P_0}{e} \cdot x - \gamma \frac{P_0 S_1}{\gamma \omega S e} \cdot u_1 = \rho e u_1$$

En multipliant par  $\gamma \omega$  nous allons faire apparaître  $\frac{dx}{dt}$

$$u_1 \left[ 1 - \gamma \omega \frac{\rho e}{\gamma P_0} \cdot \frac{S_1}{S} \right] = \frac{S}{S_1} \cdot \frac{dx}{dt}$$

Aux très faibles fréquences le terme imaginaire est négligeable et il vient

$$v_1 = \frac{S_1}{S_1} \cdot \frac{dx}{dt}$$

c'est la vitesse que par continuité prendrait un fluide incompressible pour passer par  $S_1$

Lorsque la fréquence augmente le terme imaginaire devient prépondérant et la vitesse tend à devenir une fraction de plus en plus petite de  $\frac{S_1}{S} \cdot \frac{dx}{dt}$

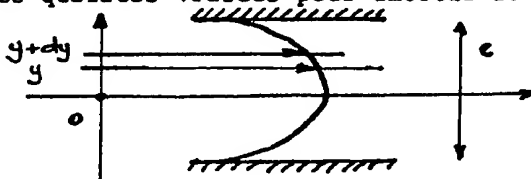
Cette configuration va réaliser une véritable coupure vers les très hautes fréquences.

Nous nous trouvons devant le même système de transformation de vitesse que la chambre de compression. La limitation vers les basses fréquences sera due à l'épaisseur  $e$ .

Amortissement par viscosité.

soit une fente fine d'épaisseur  $e$ , de longueur  $l$  et  $h$  sa largeur.

L'air traversant la fente doit supporter une perte de charge possédant les qualités voulues pour amortir le mouvement du ruban.



Considérons la tranche  $y$  et  $y + dy$ . la vitesse  $v$  varie en fonction de  $y$  et le gradient  $\frac{\partial v}{\partial y}$  ne sera pas le même sur la face supérieure et sur la face inférieure de cette tranche.

Nous devons trouver une distribution des vitesses  $u$  de telle sorte à avoir  $u = 0$  sur les parois pour  $y = \pm \frac{e}{2}$ . Soit une courbe ayant l'allure de la figure.

Sur la face  $y$  animée du mouvement le plus rapide le fluide de la tranche  $dy$  se voit entraîné par une tension valant  $\mu \frac{\partial u}{\partial y}(y)$  par  $cm^2$ , alors qu'il est retenu sur la face supérieure par une tension  $\mu \frac{\partial u}{\partial y}(y + dy)$

La force résultante par  $cm^2$  de surface latérale de la tranche  $dy$  est donc  $-\mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} dy$ , force qui tend à retenir le fluide.

Soit  $l$  la longueur de la fente et  $h$  sa largeur.

$P_1$  et  $P_2$  pressions à l'entrée et à la sortie

l'équilibre des forces appliquées à la tranche impose :

$$(P_1 - P_2) h dy = -\mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} dy \cdot h l$$

$$P_2 - P_1 = \mu l \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad \text{et} \quad \frac{P_2 - P_1}{l} = \mu \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

$\frac{P_2 - P_1}{l}$  est une constante indépendante de  $y$

$l$

donc  $\frac{S^2 u}{S y'} = cte \Rightarrow$  la distribution des vitesses est parabolique.

Soit les conditions aux limites  $u=0$   $y = \pm \frac{e}{2}$   
donc la loi de distribution des vitesses est de la forme :

$$u = u_m \left[ 1 - \left( \frac{2y}{e} \right)^2 \right]$$

par identification, nous avons

$$\frac{S^2 u}{S y^2} = - \frac{8}{e^2} \cdot u_m = \frac{P_2 - P_1}{e \mu}$$

et nous avons la distribution des vitesses en fonction de  $P_2 - P_1$

$$u = \frac{e^2}{8 \mu} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{2y}{e} \right)^2 \right] (P_1 - P_2)$$

la vitesse moyenne

$$\bar{u} = \frac{1}{e} \int_{-e/2}^{+e/2} u dy = \frac{e^2}{12 \mu} \cdot (P_1 - P_2)$$

donc entre la perte de charge  $P_1 - P_2$  et le débit nous avons la

relation

$$\frac{P_1 - P_2}{e} = \frac{12 \mu}{e^2} \cdot \bar{u}$$

résultat pour un régime permanent et valable pour des forces d'inertie négligeables devant les tensions visqueuses.

Soit une bouche de ruban,  $m$  la masse mobile,  $k$  la raideur,  $S$  la surface active.

$SP$  excès de pression qui règne à l'intérieur de l'appareil et la pression imposée  $SP_1$

$$\text{Il vient } m \frac{dx}{dt^2} + kx = S(SP - SP_1) \quad (A)$$

Evaluons  $SP$ . Le volume  $V$  vaut à chaque instant  $V_0 + Sx$

L'air ne peut entrer dans  $V$  que par les fentes de section offerte totale de  $s = he$ . La vitesse  $u$  étant comptée  $>0$  quand l'air s'échappe du volume, sous l'action d'une pression  $P$  positive.

La masse d'air sera

$$M = M_0 - e \int h e \bar{u} dt$$

La densité de l'air dans le volume  $V$  sera:

$$\rho + S \rho = \frac{M}{V} = \rho_0 \frac{[1 - \frac{e}{V_0} \int h e \bar{u} dt]}{[1 + \frac{Sx}{V_0}]} \quad \text{or } \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{1}{1 + \frac{Sx}{V_0}} \quad \text{et } \int u dt = \frac{e^2}{12 \mu e} \int SP dt$$

$$\text{Soit } \frac{SP}{\rho_0} = - \frac{Sx}{V_0} - \frac{he}{V_0} \cdot \frac{e^2}{12 \mu e} \int P dt$$

$SP$  est liée aux variations de densité par l'équation adiabatique.

$$\frac{SP}{\rho_0} = \gamma \frac{Sx}{V_0}$$

d'où l'expression de  $SP$  en fonction de  $x$

$$SP + \gamma P_0 \frac{he^2}{12 \mu e V_0} \int SP dt = - \frac{\gamma P_0}{V_0} \cdot Sx \quad (B)$$

Le mouvement de la membrane est donc régi par le système des deux équations A et B

Changeons le signe de  $SP$  et dérivons B par rapport au temps et posons  $\frac{\gamma P_0}{e_0} = c^2$

5

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx + SSP = -SSP_1 \quad (C) \\ \frac{dSP}{dt} + \left( \frac{c^2 P_0}{V_0} \cdot \frac{he^3}{12\mu l} \right) SP = \left( \frac{c^2 S P_0}{V_0} \right) \frac{dx}{dt} \end{cases}$$

10

Nous voulons déterminer la réponse de l'appareil, en amplitude, en fonction de la fréquence. Le plus simple est de chercher la phase que possède  $SP$  par rapport à  $x$  afin d'observer quel degré d'amortissement  $SP$  va amener.

Soit une variation sinusoïdale de  $Sx$  et  $SP$ , nous avons :

$$\frac{dSP}{dt} = j\omega SP$$

15

B peut se résoudre par rapport à  $SP$  soit :

$$SP = \frac{\frac{c^2 S P_0}{V_0}}{\frac{c^2 P_0}{V_0} \cdot \frac{he^3}{12\mu l} + j\omega} \cdot \frac{dx}{dt}$$

20

et

$$SP = \frac{\frac{c^2 S P_0}{V_0} \left[ \frac{c^2 P_0}{V_0} \cdot \frac{he^3}{12\mu l} \right] - j\omega \cdot \frac{c^2 S P_0}{V_0}}{\omega^2 + \left( \frac{c^2 P_0}{V_0} \cdot \frac{he^3}{12\mu l} \right)^2} \cdot \frac{dx}{dt}$$

soit deux termes, un réel, l'autre imaginaire,

25

Le premier est en phase avec  $\frac{dx}{dt}$ , c'est le terme que nous cherchons.

Le second est en phase avec  $-j\omega \frac{dx}{dt}$  soit avec  $-j\omega \cdot j\omega x$  donc avec  $\omega^2 x$  et  $SP$  s'écrit :

30

$$SP = \frac{\frac{c^4 S P_0^2}{V_0^2} \cdot \frac{he^3}{12\mu l}}{\omega^2 + \left( \frac{c^2 P_0}{V_0} \cdot \frac{he^3}{12\mu l} \right)^2} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{\frac{c^2 S P_0}{V_0} \cdot \omega^2}{\omega^2 + \left( \frac{c^2 P_0}{V_0} \cdot \frac{he^3}{12\mu l} \right)^2} \cdot x$$

Replacé dans C, nous avons

35

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{\frac{c^4 S^2}{V_0^2} \cdot P_0^2 \cdot \frac{he^3}{12\mu l}}{\omega^2 + \frac{c^4 P_0^2}{V_0^2} \left( \frac{he^3}{12\mu l} \right)^2} \cdot \frac{dx}{dt} + \left[ k + \frac{P_0 \frac{c^2 S^2}{V_0} \cdot \omega^2}{\omega^2 + \frac{c^4 P_0^2}{V_0^2} \left( \frac{he^3}{12\mu l} \right)^2} \right] x =$$

40

$$-SSP_1.$$

Si  $\omega$  est grand : la viscosité freine complètement le mouvement rapide de l'air dans les fentes. Et c'est comme si le volume  $v$  était fermé et à la dureté  $K$  de la membrane s'ajoute  $\rho_0 \frac{c^2 S^2}{V_0}$  provenant de l'élasticité de l'air du volume  $v$ .

5 Le terme de frottement en  $\frac{dx}{dt} = 0$ . Si  $\omega$  est très faible, l'air va circuler dans les fentes. L'air peut s'évacuer de telle sorte que la pression dans  $v$  ne varie pas sensiblement et le terme de rappel élastique supplémentaire du à l'air de la cavité  $V_0$  disparaît.

10 Aux basses fréquences, ce débit s'accompagne d'un frottement à peu près constant.

Le coefficient  $f$  pour  $\omega \neq 0$  vaut  $f = S^2 \cdot \frac{12 \mu \ell}{h e^3}$

dans notre cas, soit 2 cm<sup>2</sup> de membrane de  $\frac{1}{100}$  d'épaisseur en duralumin; nous obtenons une masse de 0,0054 g  $\mu = 0,00017$  (air)

15 Si l'on veut avoir un terme de frottement  $f \frac{dx}{dt}$  l'emportant beaucoup sur le terme d'inertie jusque vers les fréquences élevées, nous désirons

$$f \frac{dx}{dt} > m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

20 ou  $S^2 \frac{12 \mu \ell}{h e^3} > m \omega$

soit  $S = 2 \text{ cm}^2$ ,  $\mu = 0,00017$  donc  $\frac{\ell}{h e^3} > 4,157 N$ , prenons une fréquence aigue de 20.000 Hz, nous avons  $\frac{\ell}{h e^3} > 83140$

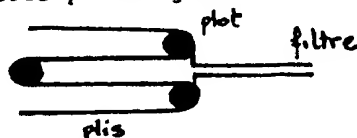
25 soit  $e : 0,02 \text{ cm}$ ,  $\frac{\ell}{h} > 0,665$   
prenons  $h$  de la hauteur du ruban, soit 1 cm et nous obtenons  $\ell = 7 \text{ mm}$   
soit un filtre très réalisable.

30 Il faut maintenant régler  $V_0$  assez petit pour que  $\omega$  soit toujours négligeable devant  $\frac{c^2 \rho_0}{V_0} \left( \frac{h e^3}{12 \mu \ell} \right)$

$$\text{soit } V_0 < \frac{(34,410^3)^2 \cdot 0,001293}{2\pi \cdot 20 \cdot 10^3} \cdot \frac{1}{12 \cdot 0,00017 \cdot 83140}$$

35 soit  $V_0 < 0,07 \text{ cm}^3$

soit les filtres placés justes à l'intérieur des plis



40 moyennant quoi notre appareil est tellement amorti qu'il est entièrement



contrôlé par le frottement et la loi de mouvement va être  $\frac{dx}{dt} \propto SP_1$   
soit amplitude constante en fonction de la fréquence jusqu'à notre  
fréquence limite soit 20.000 Hz.

#### Industrialisation

5 Notre première fabrication expérimentale fait apparaître un appareil  
simple à mettre en œuvre et nos premiers résultats très encourageants.

Les pièces polaires sont simples et si sur notre modèle le champ  
magnétique était produit par un électro aimant, il est très simple  
de le remplacer par un aimant.

10 Les pièces supportant le ruban que nous avons usinées sont simples  
à réaliser par injection. Le montage du ruban aisé, la mise au point  
inexistante.

Si nous obtenons un brevet d'invention, nous ferons paraître une  
étude théorique approfondie.

15 à savoir :

- schéma équivalent de l'ensemble.
- influences et optimisation des écarts de plots, des surfaces et  
de masse du ruban en fonction des bandes de fréquence à reproduire  
en imposant un rendement maximum.

20 Les cibles commerciales : sonorisation (plein air, théâtres, cinéma,  
salles de spectacle .... )

haute fidélité, haut de gamme pour des appareils  
optimisés

et haute fidélité grand public car un appareil  
simplifié serait d'un prix très  
bas.

25

émissions d'ultra sons à fort niveau pour  
l'industrie.

30 Notons que même l'appareil optimisé reste simple, à savoir moins  
difficile à réaliser qu'une bonne chambre de compression et de résultats  
supérieurs sur tous les paramètres.

Il resterait à fabriquer un appareil pouvant se coupler avec un  
pavillon pour régler les problèmes de directivité imposés par la sonori-  
sation de salle.

35 Cet appareil devrait donc, quelque soit les différentes versions  
être fabriqué en grande série en vue de marchés nationaux, mais surtout  
à l'exportation.

REVENDEICATIONS

1) Haut-parleur à ruban (7), plissé en accordéon, autour de plots isolés (3) disposés sur deux circonférences concentriques cernant un entrefer circulaire.

5 Ce haut-parleur est caractérisé par le remplissage optimum de l'entrefer et le mode de fonctionnement des surfaces de ruban face à face, en transformateur de vitesse, qui procurent à ce système un très haut rendement ainsi qu'une très forte puissance admissible.

10 Le dispositif associé indispensable est constitué par le système (4) d'amortissement par viscosité conférant la linéarité de l'ensemble.

2) haut-parleur selon la revendication 1 caractérisé par son rayonnement sur 360° grâce à la forme de ses pièces polaires circulaires ( 1,5, )

15 3) haut-parleur selon la revendication 2 caractérisé par la disposition du ruban (7) en plis autour de plots isolés (3) fonctionnant en transformateur de vitesse.

4) haut-parleur selon la revendication 3 caractérisé par son système d'amortissement à viscosité (4).

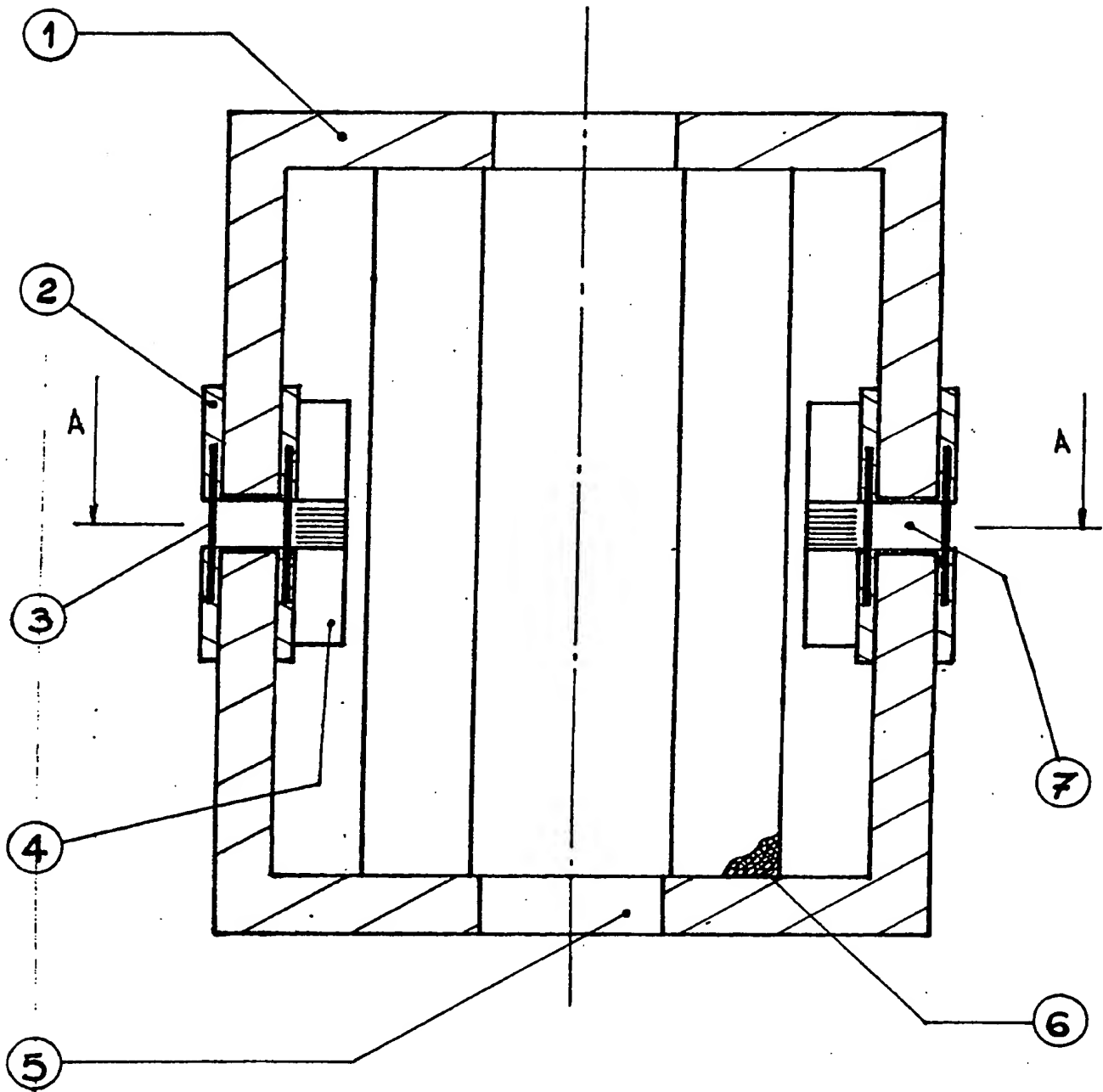
1/2

2555007

HAUT PARLEUR A RUBAN

COUPE VERTICALE. Fig I

Echelle 1



2/2

2555007

# HAUT PARLEUR A RUBAN

COUPE AA

Echelle 1

